

**CE DOCUMENT EST DESTINÉ AUX ETUDIANTS DE LA
FACULTÉ DES SCIENCES DE RABAT
(MAROC)**

**LE CONTENU DE CE DOCUMENT EST COMMENTÉ DANS LE
DETAIL PENDANT LES SEANCES DE COURS**

POUR TOUT AUTRE USAGE IL CONVIENT DE CITER LA SOURCE

Chapitre V

STRUCTURE DU GLOBE TERRESTRE

METHODES UTILISEES POUR DETERMINER LA STRUCTURE PREOFONDE DE LA TERRE

- 1 - L'étude des forages mais elle est insuffisante car le forage le plus profond ne dépasse pas 12 km, alors que le rayon de la Terre = 6370 km**
- 2 - La sismologie = étude des séismes naturels et artificiels**
- 3 - La gravimétrie = étude des variations de g, accélération de la pesanteur**
- 4 - La volcanologie = étude des volcans et des activités volcaniques**
- 5 - Le géomagnétisme = étude du champ magnétique terrestre**
- 6 - La géothermie = étude des répartitions des températures à l'intérieur de la Terre, et des phénomènes physiques et géologiques qui leur sont liés**
- 7 - La géochimie = étude de la composition et des propriétés chimiques des roches**
- 8 - La minéralogie = étude de la composition et des propriétés minéralogiques des roches**
- 9 - L'étude des minéraux et des roches au laboratoire en créant les conditions thermodynamiques régnant à l'intérieur de la Terre (= étude des géomatériaux)**
- 10 - L'étude des météorites et des astéroïdes (qui se sont formés en même temps que la Terre)**

Ne pouvant pas traiter, dans le détail, de l'apport de chacune de ces disciplines nous nous limiterons ici à évoquer brièvement le principe de ces méthodes en donnant leurs principaux résultats

I - MODELE SISMOLOGIQUE DE LA TERRE

séisme naturel (fracture des roches) ou forte explosion (nucléaire par exemple) → émission d'ondes sismiques parmi lesquelles :

- les ondes P traversent tous les milieux
- les ondes S traversent les milieux solides et ne passent pas dans les liquides

$$V_p = \sqrt{\frac{4\mu/3 + k}{d}} \quad V_s = \sqrt{\frac{\mu}{d}}$$

μ = coefficient de rigidité, lequel mesure la résistance des roches au changement de forme
(pour les fluide $\mu = 0$, d'où $V_s = 0$; d'où S non transmises)

k = coefficient d'incompressibilité, lequel mesure la résistance des roches au changement de volume

d = densité des roches (ou ρ = masse volumique)

L'augmentation brutale de V_p et V_s à certaines profondeurs veut dire que :

- Les ondes P et S sont passées d'un milieu à un autre de caractéristiques physiques très différentes (de plus en plus rigides et incompressibles)
- Les ondes P et S ont traversé des limites = *surfaces de discontinuité* à l'intérieur de la Terre

Puisque V_p et V_s augmentent avec la profondeur → théoriquement la densité d doit diminuer

Or en réalité, comme la pression augmente avec la profondeur, la densité d augmente également avec la profondeur

→ en fonction de la profondeur, les paramètres μ et k doivent augmenter plus vite que la densité d

Conclusion :

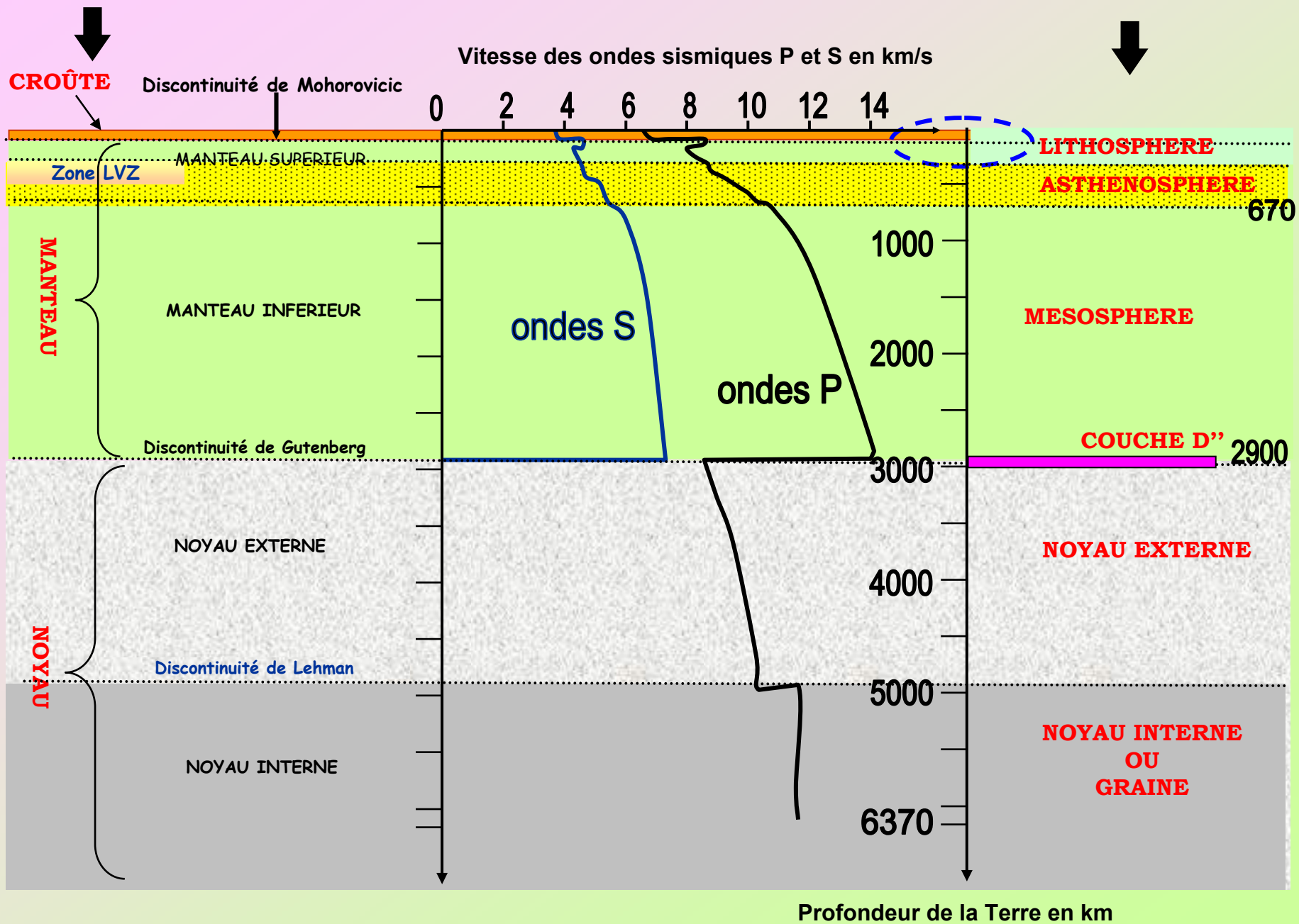
En fonction de la profondeur les roches du globe terrestre sont de plus en plus rigides, incompressibles et denses

I - MODELE SISMOLOGIQUE DE LA TERRE (suite)

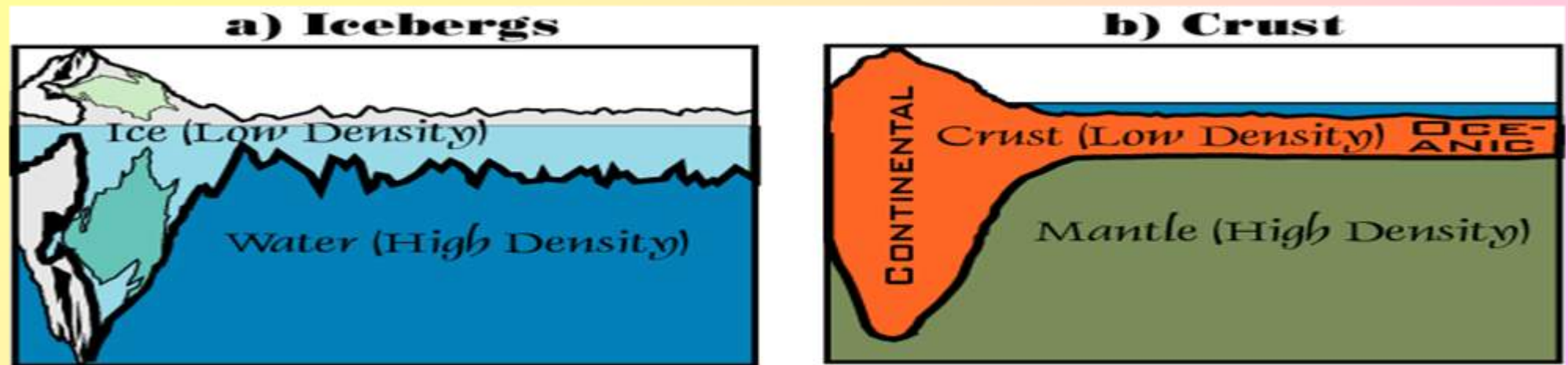
1 - Sur la base des discontinuités **majeures** des vitesses des ondes sismiques : croûte, manteau et noyau

2 - Sur la base du comportement physique des couches (rigides ou molles) : lithosphère, asthénosphère, mésosphère, noyau interne et noyau externe

(fig.1)

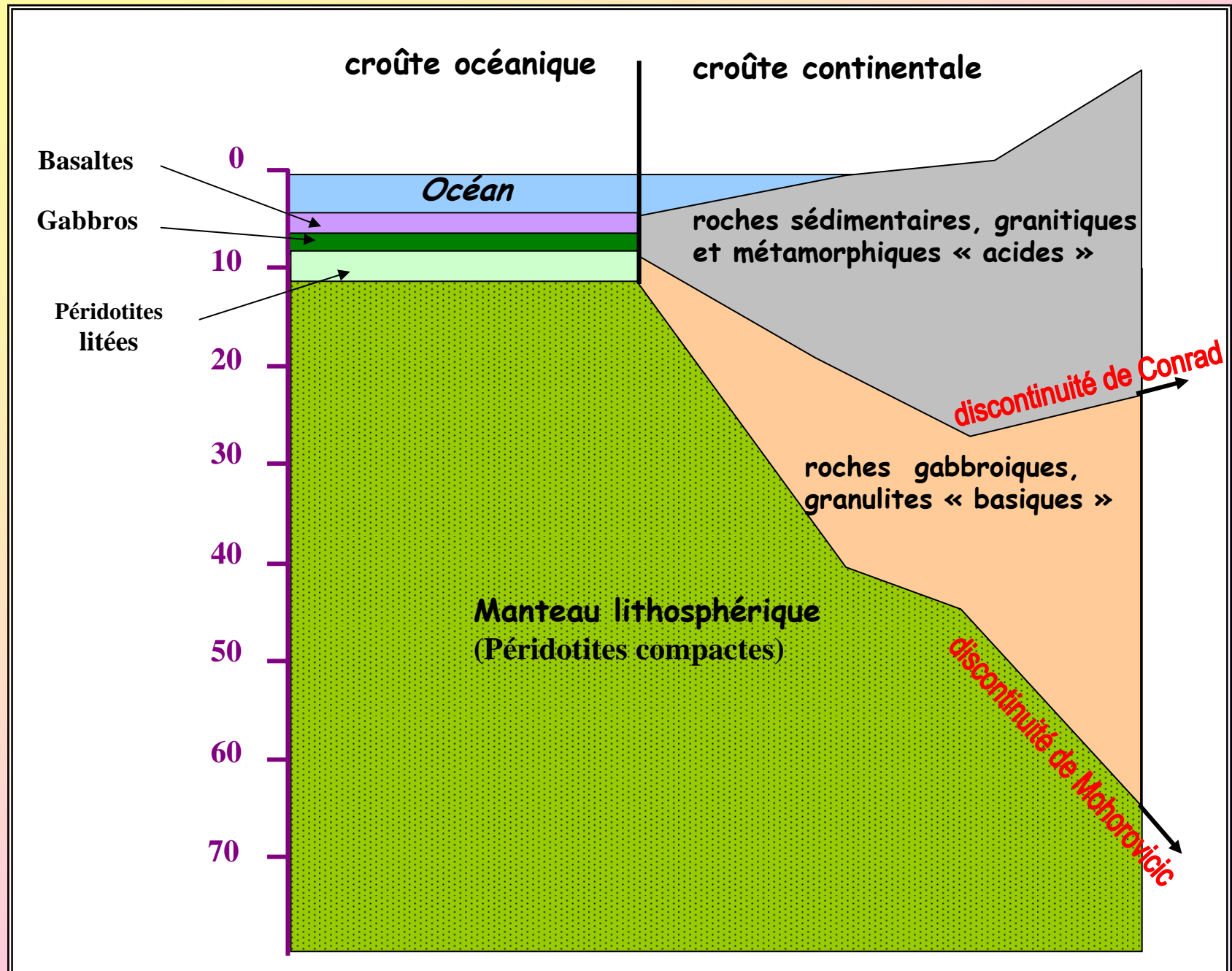


Phénomène d'équilibre isostatique



L'isostasie est un phénomène de rééquilibrage de l'altitude de la croûte continentale par rapport à la surface de la Terre. Elle est due à la différence de densité entre les roches de la croûte continentale (légères), par rapport aux roches du manteau (plus denses).

Fig.3 : Structure de la lithosphère



I - MODELE SISMOLOGIQUE DE LA TERRE

II - MODELE CHIMIQUE ET MINERALOGIQUE DE LA TERRE

1. - Méthodes d'étude

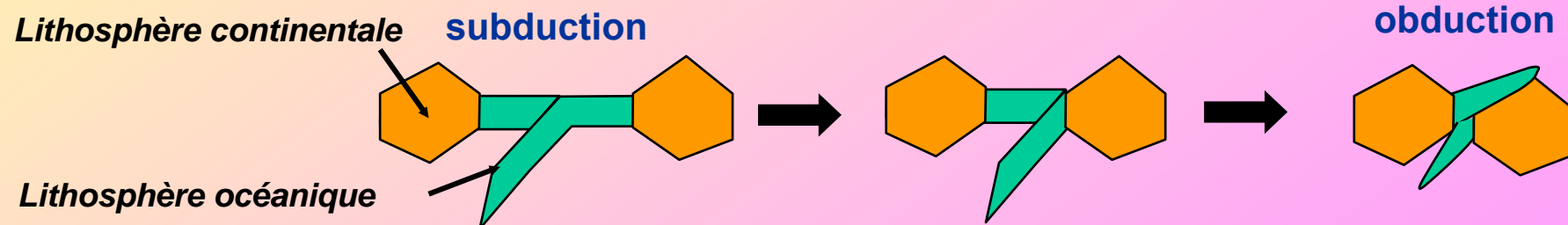
1.1. - Méthodes directes

1.1.1 - études de surface

certaines roches autrefois profondes maintenant visibles à la surface à la suite de leur soulèvement et de l'érosion des terrains qui les cachaient.

→ roches de la croûte formées de silicates
un silicate = combinaison de silice et d'oxydes métalliques
Exemples : Pyroxène $\text{Si}_2\text{O}_6 (\text{Fe},\text{Mg})_2$ Olivine $\text{SiO}_4 (\text{Fe},\text{Mg})_2$ Feldspath $\text{Si}_3\text{O}_8 (\text{K},\text{Al})$

→ roches du manteau supérieur = péridotites qui affleurent actuellement grâce à la rencontre de deux continents (= obduction)



une péridotite = roche constituée d'olivines

l'olivine forme une série continue entre son pôle ferreux et son pôle magnésien

I - MODELE SISMOLOGIQUE DE LA TERRE

II - MODELE CHIMIQUE ET MINERALOGIQUE DE LA TERRE

1. - Méthodes d'étude

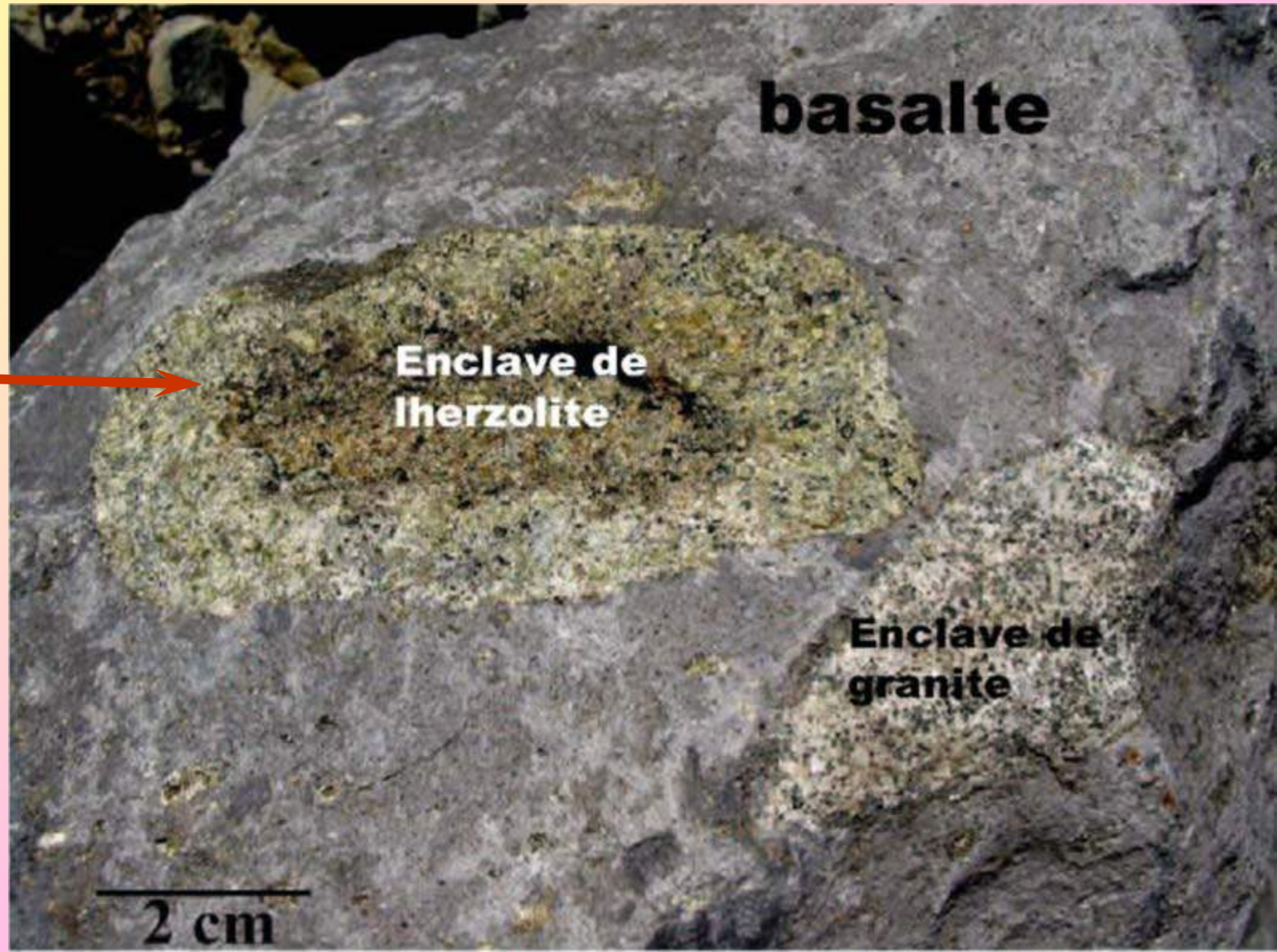
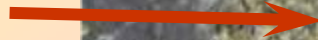
1.1. - Méthodes directes

1.1.1. - études de surface

1.1.2. - étude des basaltes

1.1.3. - étude des enclaves des basaltes

roche du manteau
(60% olivines, 40%
pyroxènes)



basalte

**Enclave de
lherzolite**

**Enclave de
granite**

2 cm

I - MODELE SISMOLOGIQUE DE LA TERRE

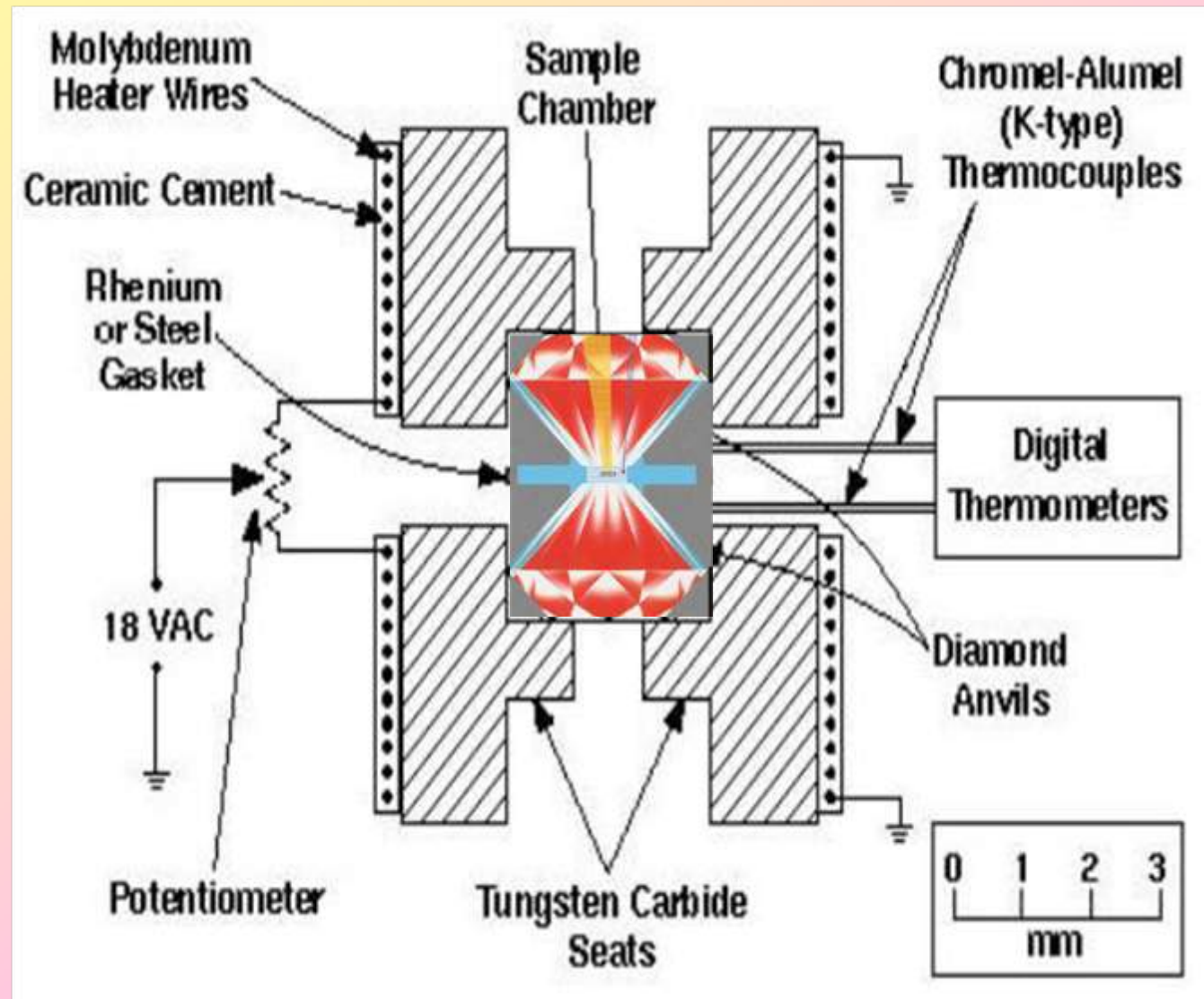
II - MODELE CHIMIQUE ET MINERALOGIQUE DE LA TERRE

1. - Méthodes d'étude

1.1. - Méthodes directes

1.2. - Méthodes indirectes

1.2.1. - enclumes de diamants



I - MODELE SISMOLOGIQUE DE LA TERRE

II - MODELE CHIMIQUE ET MINERALOGIQUE DE LA TERRE

1. - Méthodes d'étude

1.1. - Méthodes directes

1.2. - Méthodes indirectes

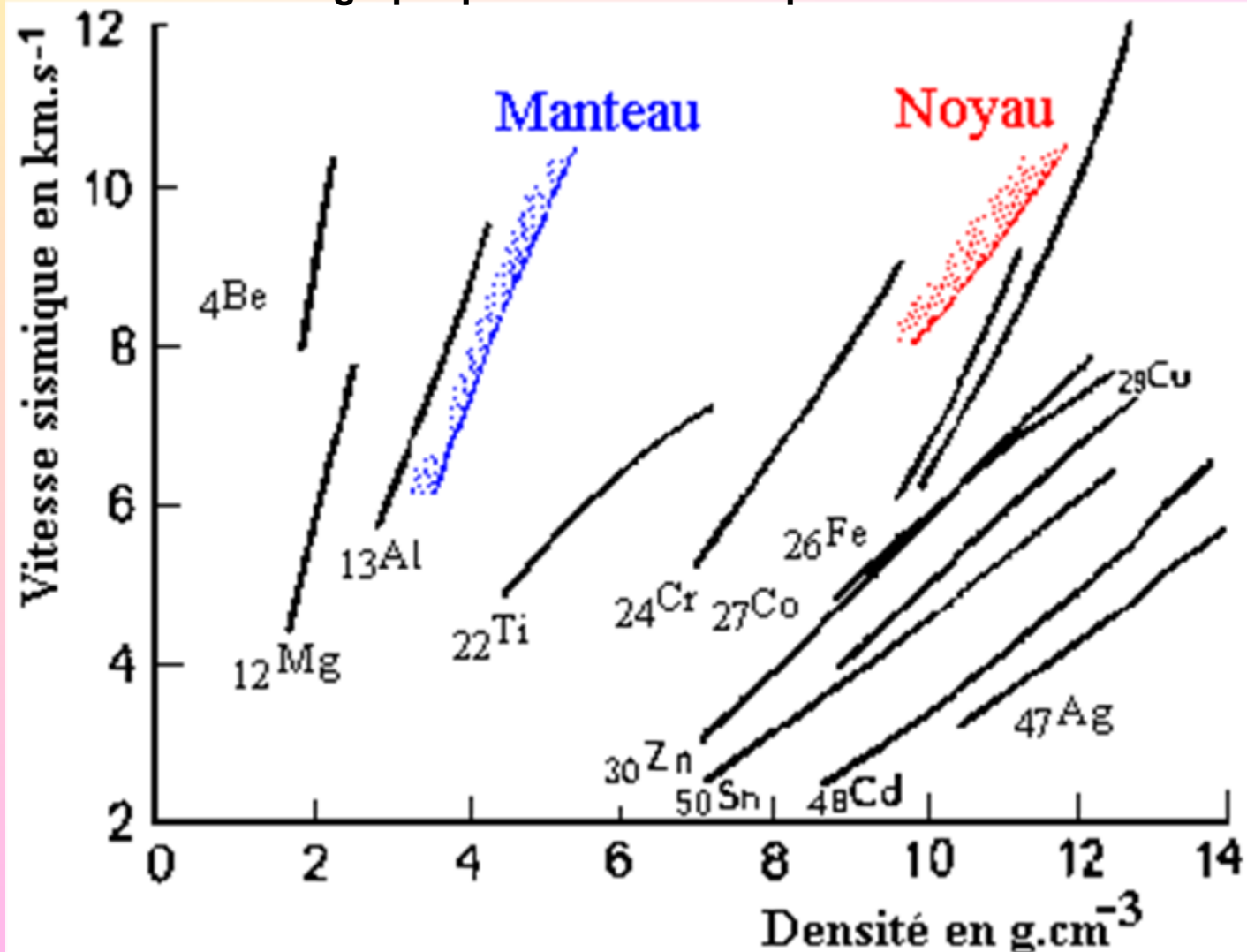
1.2.1. - enclumes de diamants

1.2.2. - sismologie expérimentale

L'étude au Laboratoire des transmissions des ondes sismiques dans différents matériaux a permis de construire des graphiques comme celui présenté ici

le manteau est riche en silicates
ce qui a pu être vérifié sur des
fragments du manteau supérieur,
remontés à la surface à la suite
de collisions entre des plaques.

La courbe représentant les
caractéristiques du noyau se
situe à proximité des résultats du
fer et du nickel.



I - MODELE SISMOLOGIQUE DE LA TERRE

II - MODELE CHIMIQUE ET MINERALOGIQUE DE LA TERRE

1. - Méthodes d'étude

1.1. - Méthodes directes

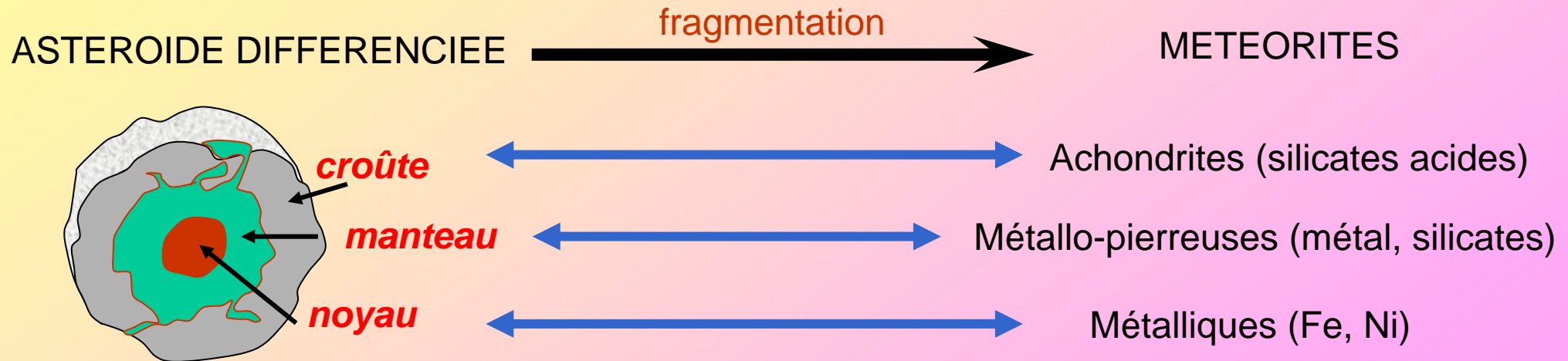
1.2. - Méthodes indirectes

1.2.1. - enclumes de diamants

1.2.2. - sismologie expérimentale

1.2.3. - étude des météorites

L'étude des météorites différenciées ainsi que la sismologie expérimentale ont permis de donner une idée sur la composition chimique de la Terre



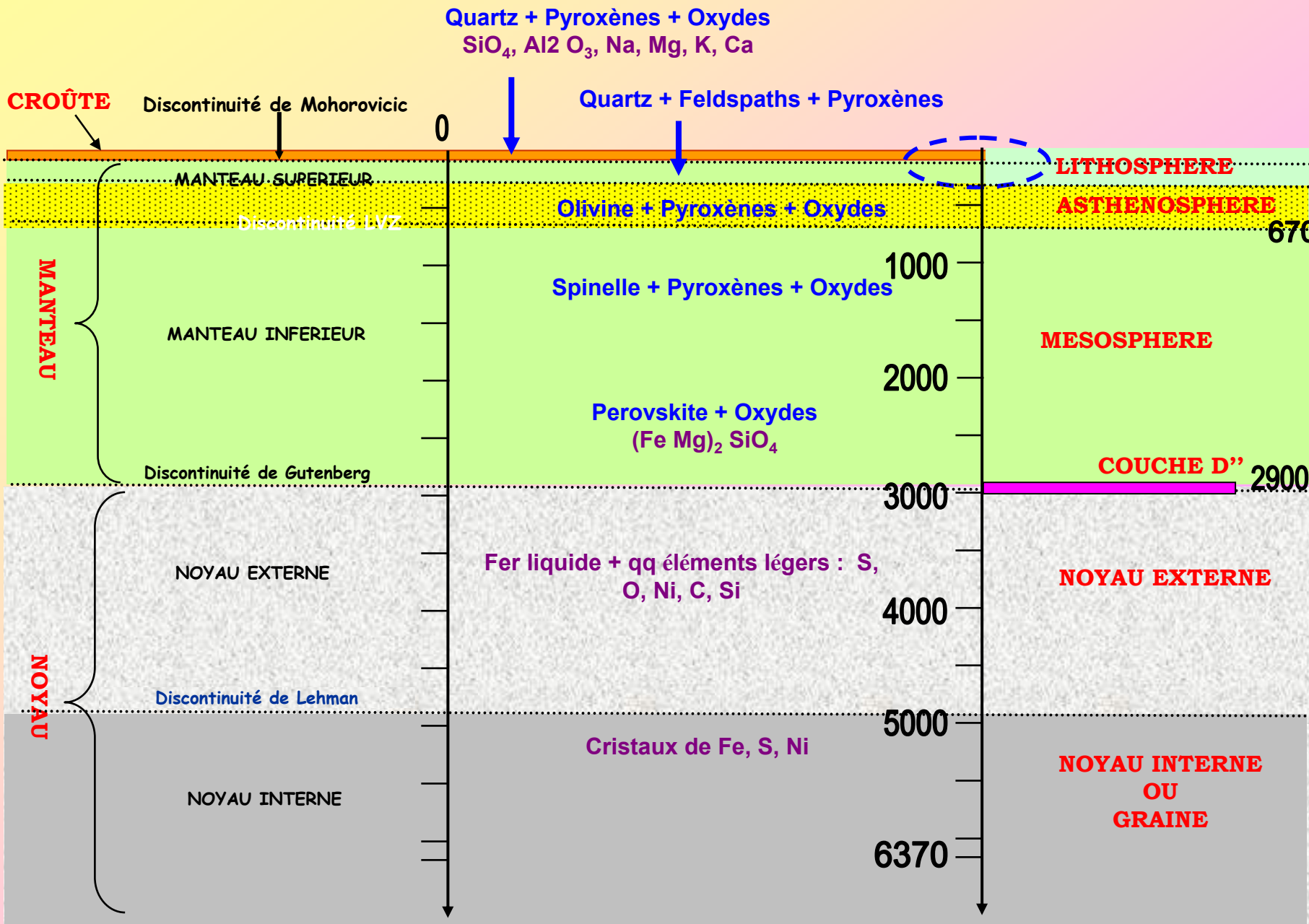
A noter qu'au début de la formation du système solaire les planètes telluriques et les astéroïdes ont subi le même processus de différenciation

I - MODELE SISMOLOGIQUE DE LA TERRE

II - MODELE CHIMIQUE ET MINERALOGIQUE DE LA TERRE

1. - Méthodes d'étude
2. - Résultats

Fig.10 : Répartition des éléments chimique et des minéraux à l'intérieur de la Terre



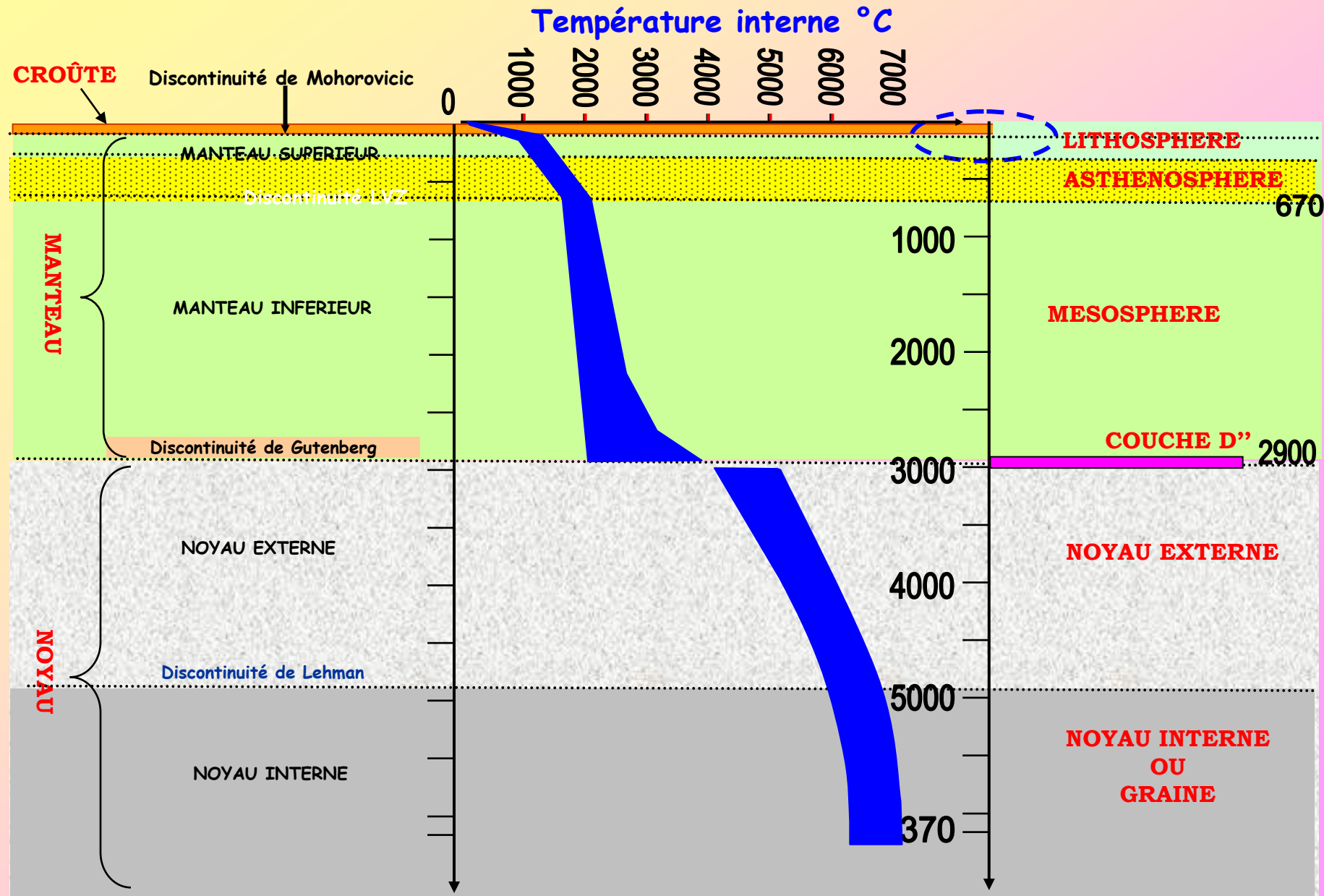
Profondeur de la Terre en km

I - MODELE SISMOLOGIQUE DE LA TERRE

II - MODELE CHIMIQUE ET MINERALOGIQUE DE LA TERRE

III - MODELE THERMIQUE DE LA TERRE

Fig.11 : Répartition de la chaleur à l'intérieur de la Terre



Profondeur de la Terre en km

I - MODELE SISMOLOGIQUE DE LA TERRE

II - MODELE CHIMIQUE ET MINERALOGIQUE DE LA TERRE

III - MODELE THERMIQUE DE LA TERRE

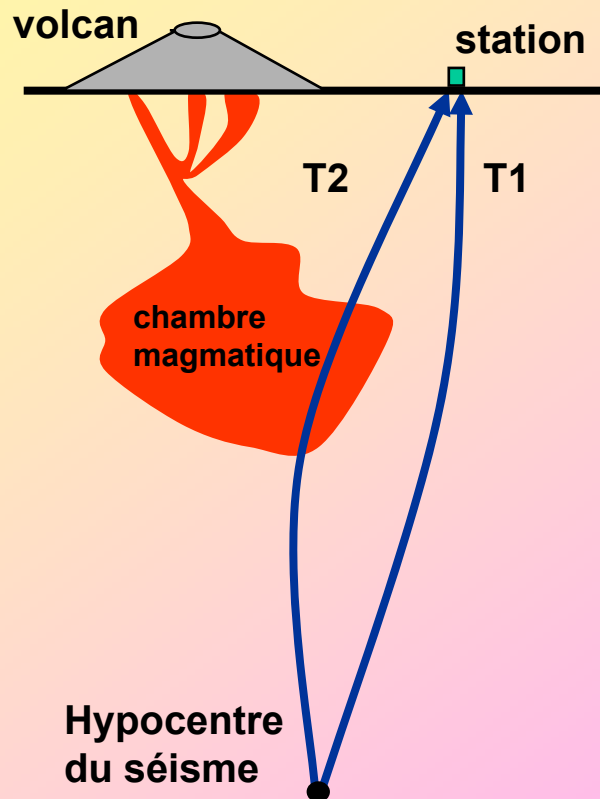
III - MODELE DYNAMIQUE DE LA TERRE

1 – La tomographie sismique

1.1. - Principe

C'est un procédé comparable à l'exploration du corps humain par un scanner. Il est basé sur la récupération des **résidus des temps** d'arrivée des ondes sismiques qui seront transformés en images tridimensionnelles

résidu de temps $\Delta t = \Delta t_{\text{théorique}} - \Delta t_{\text{observée}}$



mesure des écarts de vitesse de propagation des ondes par rapport à une structure moyenne du globe terrestre

$$\Delta T_1 = \Delta T_1 \text{ théorique} - \Delta T_1 \text{ observée} = 0$$

$$\Delta T_2 = \Delta T_2 \text{ théorique} - \Delta T_2 \text{ observée} \neq 0$$

$$\text{si } \Delta T_2 < 0 \rightarrow \Delta T_2 \text{ théorique} < \Delta T_2 \text{ observée}$$



temps de parcours dans le milieu réel plus lent que celui prédit par le modèle de la Terre

III - MODELE DYNAMIQUE DE LA TERRE

1 – La tomographie sismique

1.1. - Principe

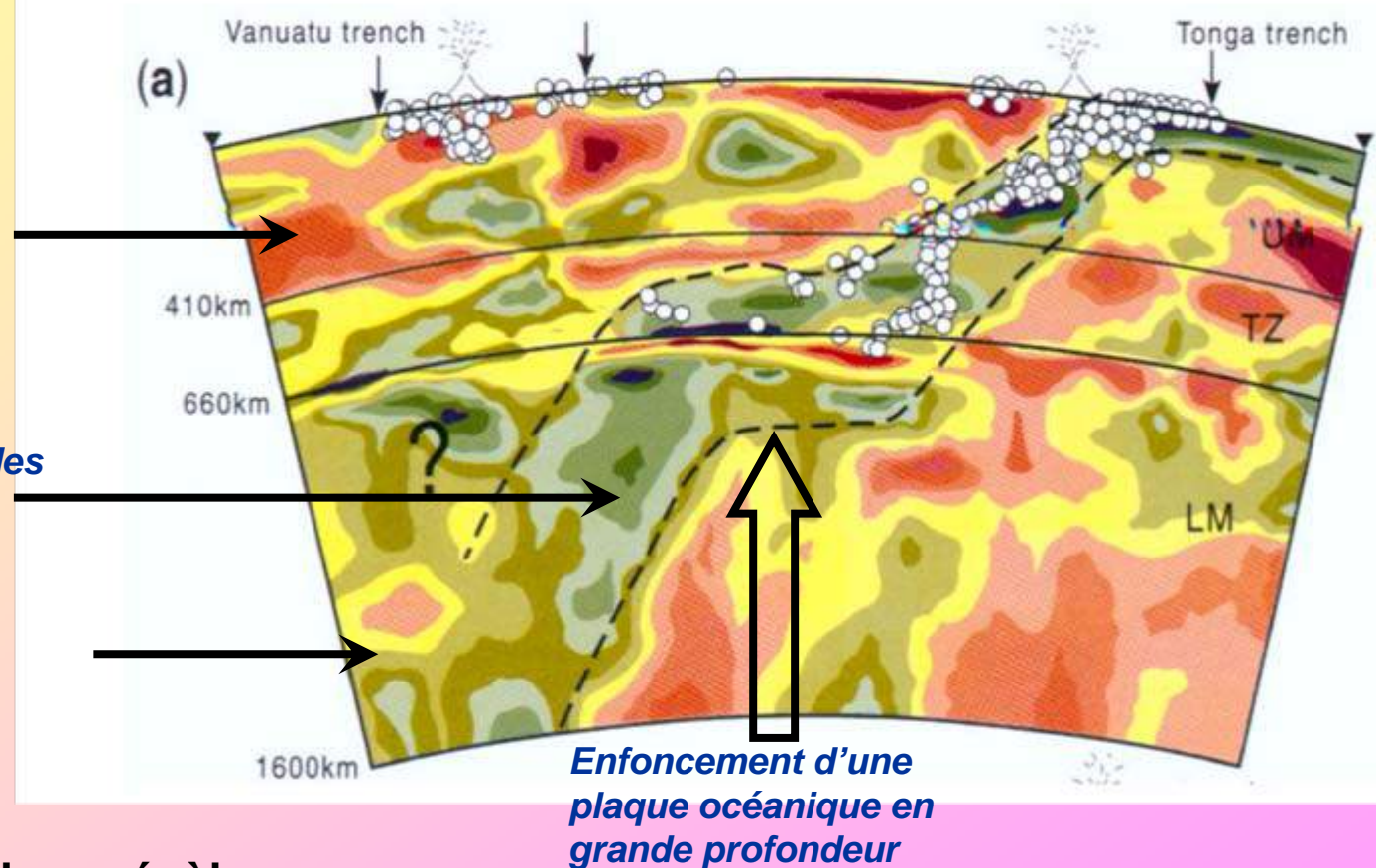
1.2. - Résultats

PROFIL TOMOGRAPHIQUE

Trajet lent des ondes sismiques dans un manteau chaud

Trajet rapide des ondes sismiques dans un manteau froid

Vitesse moyenne



la tomographie sismique révèle que:

- le manteau n'est pas homogène et qu'il est, par endroit, anormalement chaud
- le manteau est animé par des courants de convection



deux modèles de convection ont été proposés :

III - MODELE DYNAMIQUE DE LA TERRE

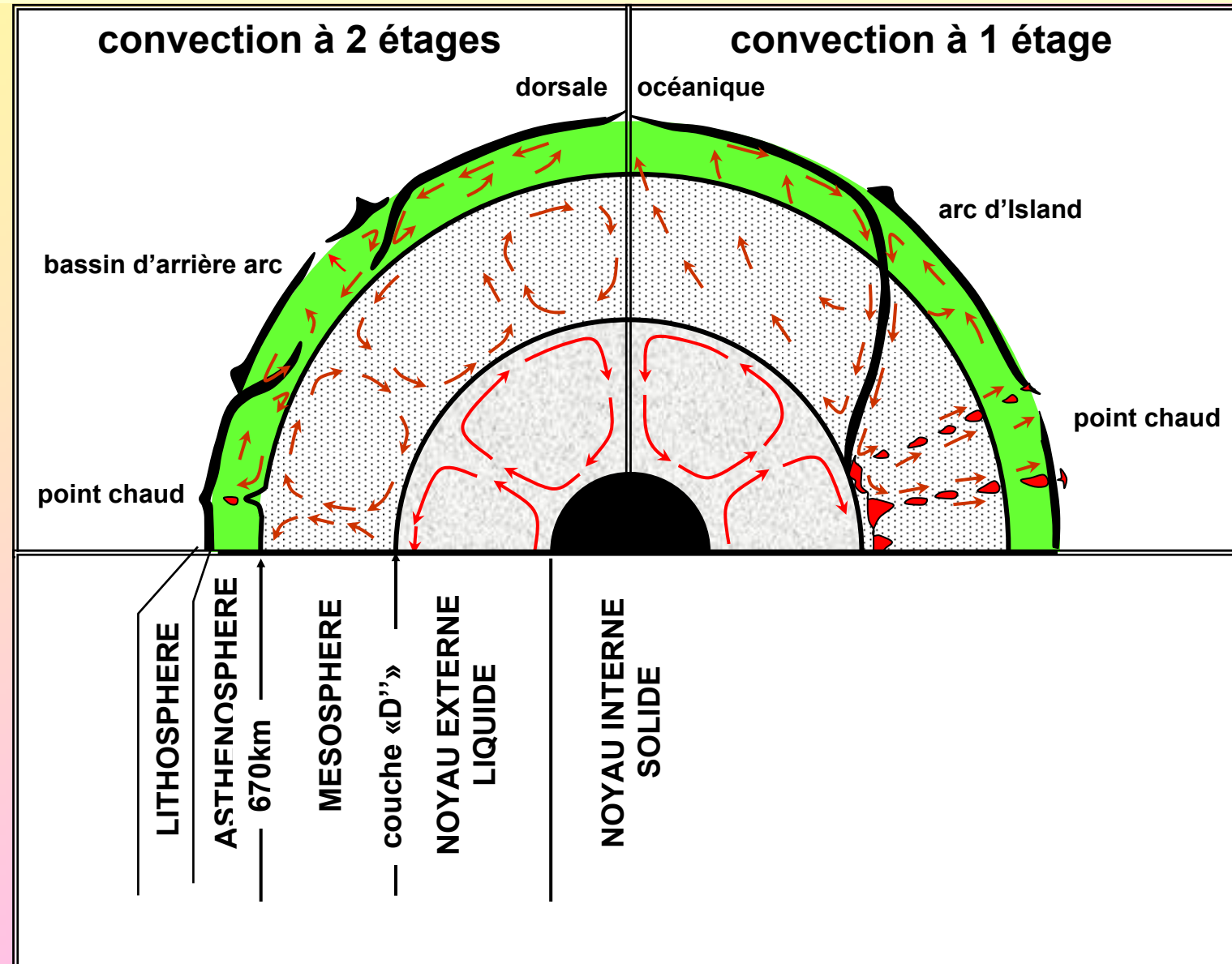
1 – La tomographie sismique

2 – La convection

2.1. – La convection du manteau

Fig. : Deux modèles possibles de la circulation de la matière au niveau du manteau (Philpots, 1990)

NB: La tomographie ne propose qu'un cliché instantané des structures actuelles, et ne résout donc pas le problème de l'évolution sur des échelles de temps géologiques.



III - MODELE DYNAMIQUE DE LA TERRE

1 – La tomographie sismique

2 – La convection

2.1. – La convection du manteau

2.1. – La convection du noyau externe : le champs magnétique terrestre (voir TD)

